

## ***Caracterização de resíduos do processo de fundição: um olhar sustentável***

A indústria de fundição possui grande importância econômica e ambiental, porém, apesar do potencial de reciclagem, gera resíduos sólidos, como escória, areia de fundição e pó de ferro. Poucos estudos na literatura abordam sua caracterização e reaproveitamento, apesar de seu potencial de reaproveitamento. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo determinar as características físico-químicas, e a partir destas sugerir e incentivar o reaproveitamento de resíduos do processo de fundição. Na caracterização da escória, areia de fundição e pó de ferro, foram determinados os teores de cinzas, carbono total e nitrogênio total, comportamento magnético, granulometria e obtido o difratograma de raios-X dos resíduos. Os resultados sugerem resíduos sólidos como subprodutos para outras indústrias, evidenciando o grande potencial para o desenvolvimento sustentável. No entanto, reforçam a necessidade de mais estudos sobre sua caracterização, e reforçam a necessidade de uma avaliação contínua devido à variabilidade da matéria-prima.

**Palavras-chave:** Lixo industrial; Reutilizado; Caracterização.

## ***Characterization of waste from the foundry process: a sustainable look***

The foundry industry has significant economic and environmental importance, however, despite its recycling potential, it generates solid waste, such as slag, foundry sand and iron dust. Few studies in the literature address their characterization and reused, despite their potential reuse. In this sense, this work aims to determine the physicochemical characteristics, and from these to suggest and encourage the reuse of waste from the foundry process. In the characterization of the slag, foundry sand and iron powder, the ash content, the total carbon and total nitrogen content, the magnetic behavior, the particle size were determined, and the X-ray diffractogram of the residues was obtained. The results suggest solid waste as by-products for other industries, highlighting the great potential for sustainable development. However, they reinforce the need for more studies on their characterization, and reinforce the need for a continuous assessment due to the variability in the raw material.

**Keywords:** Industrial waste; Reused; Characterization.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **10/06/2021**

Approved: **01/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Yasmin Milena Loth Bueno** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7581199143967017>

<http://orcid.org/0000-0002-8121-2384>

[yasmin-milena@hotmail.com](mailto:yasmin-milena@hotmail.com)

**Larissa Macedo dos Santos Tonial** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9439814411927273>

<http://orcid.org/0000-0002-5307-9379>

[larissasantos@utfpr.edu.br](mailto:larissasantos@utfpr.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2674-6492.2021.002.0001

### **Referencing this:**

BUENO, Y. M. L.; TONIAL, L. M. S.. Caracterização de resíduos do processo de fundição: um olhar sustentável. **Environmental Scientiae**, v.3, n.2, p.1-12, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2021.002.0001>

## INTRODUÇÃO

A fundição é uma técnica muito antiga, sendo as primeiras datações observadas na idade da pedra, no final do período Neolítico (5.000 a.C. milhões a 4.000 a.C). Desde a descoberta, o processo de transformar o metal do estado sólido para o líquido, e a partir disso solidificar deixando na forma e tamanho desejado, vem sofrendo modificações, de modo a obter materiais finais mais resistentes, com maior diversidade e aplicações. Evolução esta que vem contribuindo para o aumento da demanda de materiais fundidos e no desenvolvimento das indústrias de fundição no mundo ao longo dos anos (MCKIE, 2015; CASOTTI et al., 2011).

No Brasil, a indústria de fundição de materiais ferrosos iniciou-se logo com a colonização (por volta do século XVI), e ganhou maior destaque com a construção de ferrovias, hoje dados da Associação Brasileira de Fundição destacam a importância deste ramo para a economia e para o ambiente (reciclagem de sucata).

A indústria de fundição de materiais ferrosos é caracterizada pela transformação de sucata em ligas metálicas como o ferro fundido. Nesse processo inclui-se resumidamente seis etapas: (1) obtenção da matéria-prima, por meio de minérios ou sucatas ferrosas, (2) fusão, (3) moldagem, (4) vazamento, (5) desmoldagem e (6) rebarbação. Ao final, obtém-se além do produto desejado, uma grande quantidade de subproduto, dentre eles a areia de fundição, a escória de fundição e o pó de ferro (BRUNO et al., 2019).

Os subprodutos do processo de fundição de materiais ferrosos, que em grande parte são destinados a aterros industriais, e pouco a reutilização, instigam preocupações ambientais. Principalmente devido ao volume gerado diariamente, as suas características físico-química, e o fato de ser um recurso não renovável, como a areia (MENDES et al., 2013; DYER, 2021). Deste modo, o presente estudo tem como objetivos identificar e caracterizar, por meio de análises físico-químicas e espectroscópicas, resíduos sólidos industriais provenientes de uma indústria de fundição localizada no Sudoeste do Paraná (MORAES et al., 2013; DYER et al., 2021).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Amostragem e preparo das amostras

Neste trabalho foram analisados os resíduos: escória de fundição (E), areia de fundição (AF) e pó de ferro (PF). Estes foram coletados quinzenalmente em uma Empresa de Fundição localizada na região Sudoeste do Paraná, a qual para manter o sigilo será denominada de Empresa A.

A cada coleta uma alíquota com aproximadamente 600 g de cada resíduo foi obtida, em seguida identificada com a sigla do resíduo e o número referente a coleta: E1, AF1, PF1, E2, AF2, PF2, E3, AF3, PF3, E4, AF4, PF4, E5, AF5 e PF5 (ABNT, 2004).

Após a coleta, as amostras foram secas a 60 °C em uma estufa de circulação forçada, durante 24 horas. Em seguida foram realizadas a análise granulométrica, e com isso reservou os resíduos da peneira de abertura de malha de 250 µm, para obtenção de uma amostra com granulometria homogênea. As amostras de E foram moídas durante 1 hora, em um moinho de bolas da marca Servitech Moinho CT-242, antes da

etapa de peneiramento.

## Caracterização físico-química das amostras

### Teor de cinzas

Para a determinação do teor de cinzas foram pesados 1,00 g de amostra, previamente seca, em seguida transferidos para cadinhos de porcelana previamente calcinados e pesados. Após as amostras foram calcinadas em forno mufla a 600 °C durante 2 horas. Este procedimento foi realizado em triplicata.

O teor de cinzas, em porcentagem, foi determinado segundo a equação (1).

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{\text{Massa Inicial (g)} - \text{Massa Final (g)}}{\text{Massa Amostra (g)}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Onde:

Massa Inicial (g) – massa do cadinho + amostra antes da calcinação

Massa Final (g) – massa do cadinho + amostra calcinada

Massa Amostra (g) – massa da amostra antes da calcinação

Após determinação do teor de cinzas, calculou-se o teor de cinzas médio para cada amostra, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

### Comportamento magnético

A determinação do comportamento magnético dos resíduos foi realizada segundo a metodologia descrita por Santos (2018), com algumas modificações. Após secagem em estufa, uma alíquota de 200 g de amostra foi depositada sobre a superfície de um papel de filtro e submetida à ação do campo magnético, um super ímã.

### Difratometria de raio-X (DRX)

A difração de raios-X dos resíduos (E, AF, PF) foi realizada empregando um difratômetro de raios-X da marca Rigaku Mini flex 600. Os difratogramas foram obtidos sob as condições: amplitude angular de 2θ, intervalo de medida entre 2 a 100°, velocidade de 1,0° min<sup>-1</sup> e voltagem de 40 kV e 15 mA, fonte de radiação λ = 1,5418 Å, de acordo com Carnin (2008), com modificações.

### Análise granulométrica

A análise granulométrica dos resíduos, AF e PF, foram realizadas após secagem das amostras, segundo a metodologia sugerida por Teixeira et al. (2018), com modificações.

Para isso, utilizou-se cinco com aberturas de malha de 4,00; 0,8; 0,71; 0,42 e 0,25 mm, posicionadas em ordem decrescente de tamanho de abertura de malha. Antes da análise, foi determinada a massa de cada peneira. Em seguida foram depositados 500 g do resíduo (massa total) na peneira com maior abertura de malha, e a análise ocorreu com tempo de tãmisagem de 5 minutos.

Após, a massa de cada peneira mais a fração do resíduo foi determinada. A massa do material depositado sobre cada peneira (massa retida na peneira) foi então calculada subtraindo do valor final o valor inicial. Após, foram também calculados os percentuais de cada peneira conforme a equação:

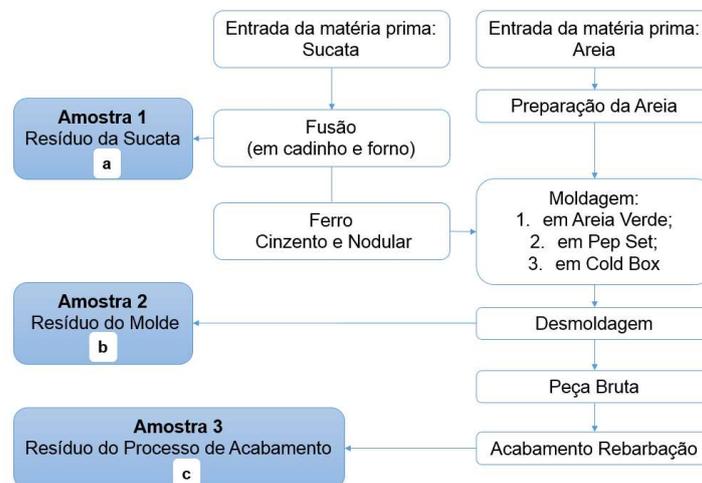
$$\text{Massa Percentual (\%)} = \frac{\text{Massa Retida na Peneira (g)}}{\text{Massa Total (g)}} \times 100 (\%)$$

## Carbono e nitrogênio total

Os teores totais de carbono e nitrogênio dos resíduos foram determinados por combustão a seco usando um analisador elementar modelo Flash EA1112, Thermo Electron Corporation, Milan, Italy. A determinação foi realizada para as amostras da primeira (E1, AF1 e PF1) e última coleta (E5, AF5 e PF5), antes e após a calcinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As visitas realizadas a empresa A, para as coletas das amostras permitiram conhecer o processo de fundição, o qual encontra-se representado na Figura 1.



**Figura 1:** Processo resumido de como são obtidos os resíduos escória de fundição (a), areia de fundição (b) e pó de ferro (c).

A empresa produz duas categorias de ligas metálicas: (1) o ferro cinzento e (2) a liga de ferro nodular. Ambos são fundidos a partir de sucata.

O processo de fundição liquefaz a matéria-prima, nesse caso as sucatas de materiais ferrosos. Para isso, são colocadas em cadinhos industriais, os quais são inseridos em um forno de indução. Neste procedimento, o metal líquido fica na parte inferior, enquanto que as impurezas ficam na parte superior, devido à diferença de densidade entre os mesmos. Esse resíduo é denominado E (Figura 2a).

A E é um subproduto indesejável para as indústrias, origina-se após o aquecimento das sucatas se tornando uma solução iônica de óxidos de metal fundido e fluoretos, que se localiza na parte superior após o aquecimento, isso ocorre devido sua menor densidade quando comparado ao metal, é constituída quimicamente de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}_3$ , dependendo o processo pode encontrar sulfitos (BOLOKANG, 2018; RIBEIRO, 2008).

O metal líquido vai para o molde, para assim adquirir a forma desejada. Utilizam-se três tipos de moldagem em areia: (1) a moldagem em areia verde, (2) a moldagem em Pep Set, e (3) a moldagem Cold

Box, que se diferenciam pela forma e tamanho final do produto e os aditivos empregado na areia. Estas, utilizam-se como base grande quantidade diárias de areia, que é um recurso não renovável.

Essa areia é colocada em uma caixa de compensado. Sob a mistura de areia é colocada uma peça semelhante que dará o formato desejado ao metal líquido, e assim é colocado o metal líquido no molde, deixando-se até solidificar. Após ser retirado o produto de interesse, tem-se o segundo resíduo denominado de AF (Figura 2b). A maior parte desse subproduto é constituída principalmente por SiO<sub>2</sub>. De acordo com algumas caracterizações químicas encontradas na literatura, além de sílica tem uma diversidade de elementos potencialmente tóxicos tais como: arsênio, bário, chumbo, mercúrio, cloretos, fluoretos, fenóis e surfactantes (CASOTTI et al., 2011; BRONDINO et al., 2014).

Em geral, uma parte da AF é destinada à construção civil, outra é reutilizada pela empresa no mesmo processo, sendo novamente adicionado aditivos aglomerantes e água para sua reutilização, após ser várias vezes reaproveitada é descartada em aterros industriais. Alguns estudos vêm avaliando a reutilização da AF na construção civil Andrade et al. (2018), Casali et al. (2018), Vargas et al. (2015), Matos et al. (2019), Santos et al. (2020), Kavitha et al. (2020) e Vargas et al. (2015). Nesse sentido, o emprego do resíduo, AF em concreto asfáltico, é uma alternativa para a sustentabilidade na pavimentação, e para a destinação desse resíduo (DYER et al., 2021).

Outros estudos realizam implementação da areia de fundição para a substituição de argilas, com a vantagem de diminuir o uso da matéria-prima vista em que alguns países já se encontram escassa (HOSSINEY et al., 2018; ANEKE et al., 2021).

Contudo, a carência de legislações específicas para o subproduto AF, regulamentando o emprego deste como matéria-prima, em aplicações fora da indústria de fundição, somado ao grande volume gerado diariamente, contribuem para o acúmulo crescente desse resíduo em aterros (OLIVEIRA et al., 2010).

Por fim, é realizado o acabamento do produto, com o emprego de lixas. O resíduo sólido, chamado de PF (Figura 2c), é produzido no melhoramento do acabamento da peça pela rebarbação e é destinado a aterros industriais (CASOTTI et al., 2011).



**Figura 2:** são ilustrados os resíduos, escória de fundição, areia de fundição e pó de ferro obtidos a partir da empresa A.

Semanalmente são produzidas cerca de 5 toneladas de AF, 100 kg de E e 150 kg de PF. Em geral, os resíduos E, AF e PF são na maioria, descartados em aterros, exceto uma pequena parcela da AF que é reutilizada na construção civil (ABNT, 2004).

Preocupados principalmente com as questões ambientais, vários trabalhos na literatura avaliaram o

reuso dos resíduos. Alekseev et al. (2019) desenvolveram novos compostos cerâmicos ecológicos, a partir da lama vermelha, bauxita e AF, buscando reduzir a quantidade de resíduos, e obter cerâmicas favoráveis ao meio ambiente, com boas propriedades físicas. Souza et al. (2019) avaliaram o emprego do subproduto AF para produzir revestimentos com materiais de proteção em liga de alumínio por oxidação eletrolítica no plasma.

### Teor de cinzas

O teor de cinzas corresponde aos teores de sais minerais e/ou impurezas presentes nas amostras, uma vez que a calcinação a 600 °C promove a eliminação de componentes orgânicos, ou melhor, conversão desta em CO<sub>2</sub>. Sendo deste modo a determinação dessa propriedade imprescindível para a caracterização dos resíduos. Na Tabela 1 são mostrados os teores de cinzas (%) das amostras de subprodutos, E e AF.

**Tabela 1:** Teor de cinzas, média ± desvio padrão, coeficiente de variação (CV) para os resíduos, E e AF obtidos pelo método calcinação. (Autoria própria)

Amostras	Teor de Cinzas (%)	Amostras	Teor de Cinzas (%)
E1	1,1 ± 0,3	AF1	3,3 ± 0,4
E2	5 ± 2	AF2	2,8 ± 0,2
E3	6 ± 3	AF3	2,54 ± 0,06
E4	0,7 ± 0,7	AF4	2,31 ± 0,05
E5	0,3 ± 0,3	AF5	2,8 ± 0,2
CV	0,48	CV	0,078

n = 3

média ± desvio padrão

Para a E os teores de cinzas variaram de 0,3 ± 0,3 a 6 ± 3%. Esse resultado mostra alta variabilidade entre os valores em função da data da coleta. Os valores de desvio padrão também indicam uma alta heterogeneidade entre as amostras de uma mesma coleta. Uma das possíveis causas dessa variabilidade pode ser a variação na composição da matéria-prima empregada, uma vez que é obtida de diferentes sucatas de ferro, oriundo de diferentes lugares.

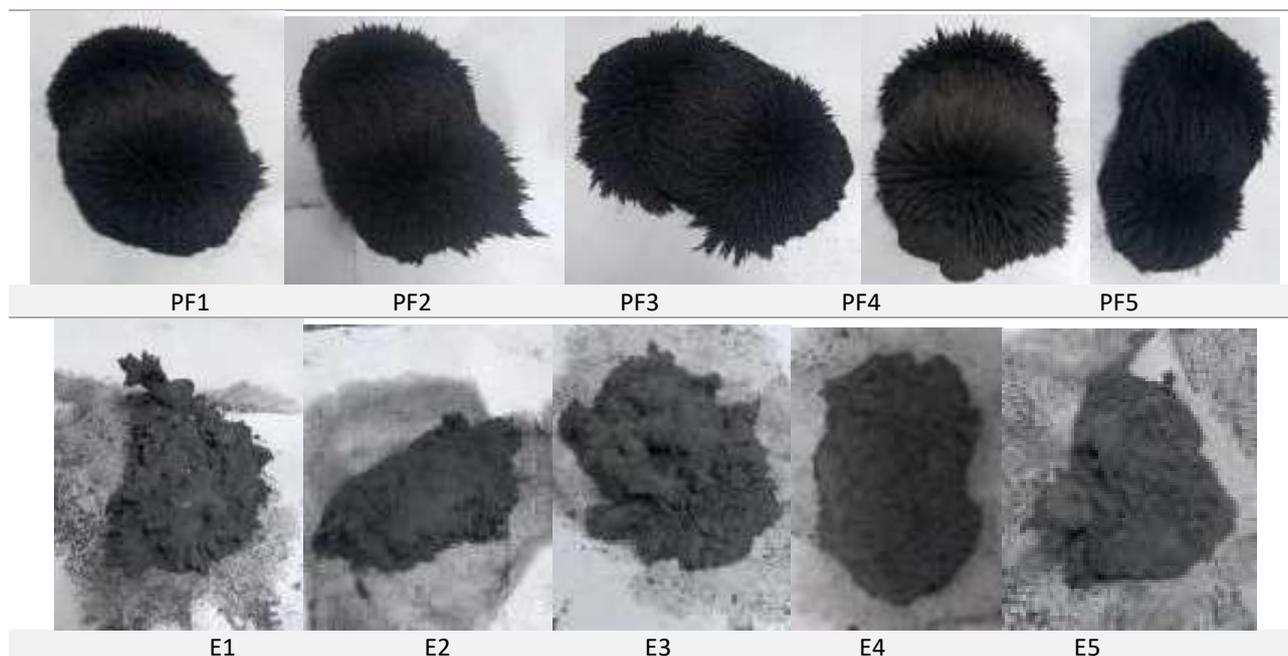
Menor variabilidade e heterogeneidade foi observada para a AF (Tabela 1). Em geral, a AF é composta majoritariamente por sílica, contudo são limitados os estudos na literatura sobre a presença de metais nestes.

A análise visual AF após calcinação, permitiu observar a mudança de coloração das mesmas decorrente provavelmente da submissão da amostra ao tratamento térmico, 600 °C. Segundo a literatura, entre a temperatura ambiente até a 110 °C ocorre a eliminação de água livre presente na amostra, entre 110 e 550 °C considera-se que a massa perdida é referente a matéria orgânica. Com isso, acredita-se que a alteração de cor da amostra ocorreu devido à perda da matéria orgânica (RODELLA et al., 1994).

Não foi possível determinar o teor de cinzas para o PF, uma vez que após calcinação este se apresentou compactado. Segundo Binder (1996) com o aquecimento das amostras a 600 °C pode ter ocorrido a formação de óxidos mistos, magnetita ou hematita, que são óxidos que se formam facilmente em condições como as que foram aplicadas para o experimento.

## Comportamento magnético

A Figura 3 ilustra o comportamento magnético dos subprodutos, PF e E.



**Figura 3:** Comportamento magnético do PF, PF1, E1, PF2, E2, PF3, e E, E3, PF4, E4, PF5 e E5.

Apenas os subprodutos E e PF apresentaram susceptibilidade magnética (Figura 3), a AF não apresentou susceptibilidade (dados não mostrados).

Para PF1, PF2, PF3, PF4 e PF5 mesmo depois de ser retirado o super ímã, ainda era visível a atração, indicando que os mesmos são capazes de ter seu próprio campo magnético, isso está associado a estrutura atômica e molecular que o material é constituído. A atração entre o super ímã e o PF com a formação de um campo magnético confirmam que as amostras analisadas contêm átomos magnéticos (FARIA et al., 2005).

Estes resultados associados aos obtidos por meio do teor de cinzas (Tabela 1) sugerem o PF como um potencial material de interesse para a indústria, em especial a eletrônica, uma vez que estudos destacam a aplicabilidade de materiais com comportamento magnético (FERIA, 2005; THIESEN, 2018).

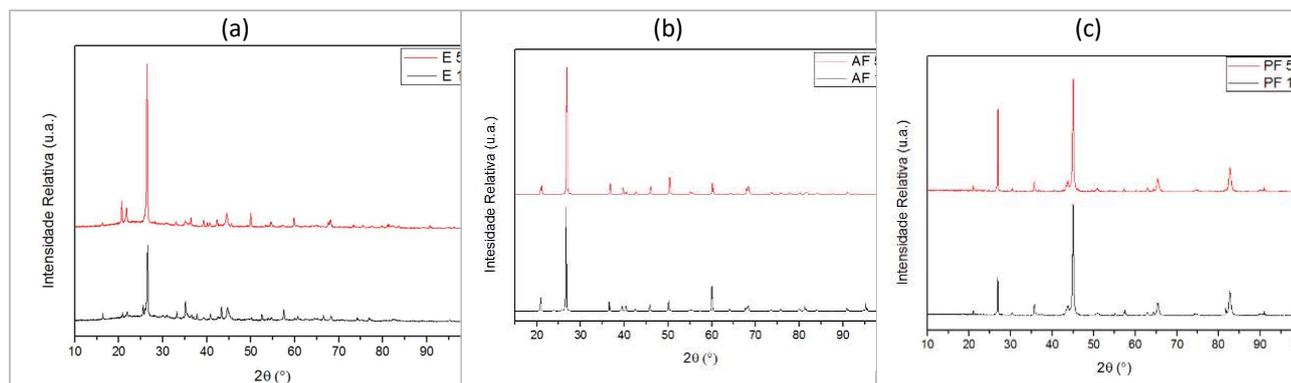
## DRX

A partir do difratograma de raio-X pode-se identificar possíveis elementos presentes. Os difratogramas são das amostras oriundas da primeira (1) e da última coleta (5). Estes foram tratados com o auxílio de um banco de dados do software: X'Pert HighScore (JEFFERY, 1957).

A E1, apresentou duas fases, (1) a fase referente ao Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) apresentando pico de difração característicos em  $2\theta = 35^\circ, 37,5^\circ, 43^\circ, 52,5^\circ, 57,5^\circ, 66,6^\circ, 68^\circ$ , e a (2) fase do Dióxido de Silício ( $SiO_2$ ), apresentando pico de difração mais intenso do difratograma em  $2\theta = 26,5$  (Figura 4a).

Na E5 identificou-se a (1) fase do Fosfato de Alumínio ( $AlPO_4$ ) pico de difração em  $2\theta = 26^\circ$  sendo o pico mais intenso do difratograma, e em  $2\theta = 50^\circ$ , e a (2) fase do  $SiO_2$  com pico em  $22^\circ$ . Observa-se que somente um pico presente em ambos os difratogramas se assemelham, o resto são distintos, isso é devido

os materiais ferrosos, sucatas, serem de diferentes tipos de ligas metálicas (Figura 4a).



**Figura 4:** Difratogramas das amostras da (a) E (b) AF, e (c) PF.

Nos difratogramas da AF1 e AF5, observou-se a presença de materiais cristalinos (Figura 4b). De modo geral, as amostras AF1 e AF5 não apresentam diferenças qualitativas, isso deve-se principalmente à homogênea e elevada pureza da areia, característica exigida para que não apresente problemas nos produtos da fundição. Com isso, a composição das AF1 e AF5 apresentaram-se semelhantes, sendo observada uma fase sendo referente ao SiO<sub>2</sub> com pico de difração em  $2\theta = 20,8^\circ$ , o pico mais intenso do difratograma em  $2\theta = 26,5^\circ, 36,5^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ . Os resultados estão de acordo com Gomes et al. (2018), o qual destaca que AF é grande parte composta por SiO<sub>2</sub>.

Na Figura 4c são apresentados os difratogramas das amostras PF1 e PF5. O PF1 apresentou três fases: a primeira com maior compatibilidade de óxido de zinco níquel cromo e ferro (ZnO.5NiO.5FeCrO<sub>4</sub>)  $2\theta = 30^\circ, 35,5^\circ, 57^\circ, 63^\circ$ ; a segunda de óxido de zinco cobre e selênio (ZnO.3CuO.35InO.35Se) com pico característico em  $2\theta = 26,5^\circ$ , e a terceira, caracterizada pelo pico de maior intensidade, referente a fase do ferro (Fe) em  $2\theta = 45^\circ$ .

No difratograma do PF5 observou-se a mesma fase do PF1, referente ao ZnO.5NiO.5FeCrO<sub>4</sub>, porém, observaram-se algumas mudanças no pico encontrado em  $2\theta = 30,5^\circ, 35,5^\circ, 54^\circ, 57,5^\circ$  e  $63^\circ$ . Similar ao PF1, o pico mais intenso também foi referente a fase do Fe, ainda apresentou a fase SiO<sub>2</sub> em  $2\theta = 21,5^\circ$  e  $27^\circ$ .

A comparação entre os difratogramas do PF1 e PF2, mostram que há variação entre os mesmos, indicando que estes contêm materiais distintos. A presença de Fe no PF pode ser decorrente da formação de óxidos mistos destes elementos formados durante a calcinação das amostras. Estes resultados corroboram com os obtidos por meio da análise magnética a qual indicou que o material continha elementos com magnetismo.

### Análise granulométrica

A distribuição granulométrica da AF e do PF são apresentadas a partir das curvas de distribuição granulométrica na Figura 5. Devido à E ter grande granulometria, e ter/sido moída, não foi possível realizar a análise granulométrica com as peneiras empregadas na análise da AF e PF.

As AF apresentaram distribuição granulométrica similar (Figura 5a), sendo observada uma distribuição uniforme da granulometria, e maioria das amostras retidas nas peneiras entre 0,25 e 0,42 mm.

Segundo a norma NBR 7211/2009, a qual trata da composição granulométrica de agregados para incorporação em cimento, a AF é considerada um agregado industrial, com característica de um agregado miúdo. Agregado miúdo é aquele que seus grãos passam pela peneira de 75 mm. Através desta análise pode-se observar que a destinação final adotada pela Empresa A, construção civil, concorda com a política de destinação final desse resíduo (ABNT, 1987).

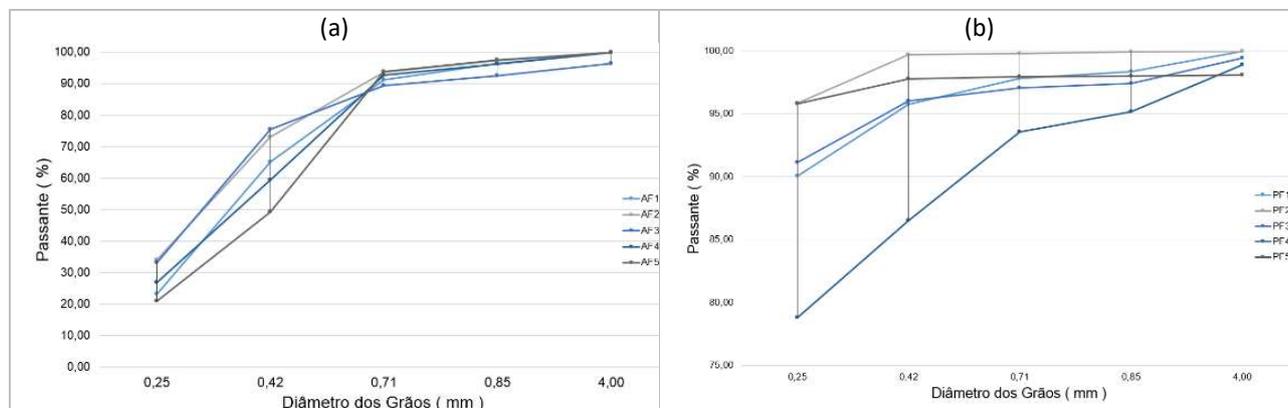


Figura 5: Distribuição granulométrica da (a) AF e (b) PF.

De modo geral, o diâmetro das peneiras foi muito grande para o PF, deste modo a maior porcentagem de material (79 a 96%) foi encontrada no fundo, ou seja, passou por todas as peneiras (Figura 5b). Observou-se ainda, variabilidade granulométrica em função da data da coleta os resultados confirmaram que o PF não se encaixa na norma NBR 7211/2009, pois não é de origem natural, e seu tamanho é muito grande (ABNT, 1987).

Na literatura não há trabalhos sobre análise granulométrica de resíduos da indústria de fundição, na maioria são sobre solos e em cimentos para construção. Com isso esta análise é uma nova proposta com a finalidade de caracterizar as amostras antes de uma possível disposição final, e quem sabe aí apresentar novas sugestões de destino final para estes resíduos.

### Carbono total

Os teores de carbono total das amostras da primeira e da última coleta, E1, AF1, PF1, E5, AF5 e PF5, antes e após a calcinação são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Teores totais de C das amostras E1, AF1, PF1, E5, AF5 e PF5, antes e após a calcinação.

Amostras	Carbono Total (%)	
	Antes da Calcinação	Após a Calcinação
E1	3,6 ± 0,5	1,7 ± 0,1
E5	4,3 ± 0,7	3,0 ± 0,6
AF1	3,62 ± 0,04	0,7 ± 0,7
AF5	4,9 ± 0,8	0,17 ± 0,02
PF1	2,2 ± 0,3	1,2 ± 0,4
PF5	3,2 ± 0,7	1,48 ± 0,09

n = 2

média ± desvio padrão

Os valores de carbono total nas amostras antes da calcinação variaram de 2,2 ± 0,3 a 4,9 ± 0,8 %, sendo os menores teores referentes à primeira coleta. Entre as amostras o PF foi o que apresentou os

menores valores (Tabela 2). Contudo, estes são em geral superiores aos teores da maioria dos solos brasileiros. Um estudo envolvendo um Latossolo mostrou valores entre 0,8 e 3,1 % (SEGNINI, 2007). Deste modo, a partir destes resultados pode-se analisar este e o destino final no solo, desde que outras avaliações químicas sejam realizadas, tais como, macro e micronutrientes, e elementos potencialmente tóxicos.

Sendo a AF as amostras que mais perderam carbono total com a calcinação (perdas > 80%). Esse resultado já era esperado devido à alteração de cor observada entre as amostras antes e após a calcinação, e ainda devido as mesmas serem uma mistura de aglomerados no qual a maior parte da composição é de compostos orgânicos.

### **Nitrogênio total**

Os subprodutos coletados, apresentaram teores de nitrogênio total entre  $0,0034 \pm 0,0004\%$  (E1) e  $0,200 \pm 0,009\%$  (AF1). Esses valores permitem inferir que estes não são uma fonte de nitrogênio.

Fertilizante nitrogenado mineral são utilizados na agricultura para melhorar a fertilidade do solo, um exemplo é a cianamida cálcica, com teores de nitrogênio total em torno de, 18%, (REETZ, 2016). Outro fertilizante usado é a turfa no qual apresenta entre 0,25 a 0,5% teores de nitrogênio (MALAVOLTA et al., 2006).

Isso indica que os fertilizantes empregados atualmente apresentam porcentagem muito maior do que presente nas amostras, sendo assim os subprodutos analisados não podem ser aplicados aos solos como fonte de nitrogênio.

### **CONCLUSÕES**

O presente trabalho permitiu identificar os resíduos AF, E e PF, todos provenientes do processo de fundição adotado pelo Empresa A. Estes, são descartados em aterro, e parte reaproveitados, contudo, acredita-se que a divulgação destes resultados possa proporcionar uma motivação para mais estudos de reutilização com os subprodutos aqui citados.

Os teores de cinzas, confirmam a alta variabilidade da E, decorrente da variação na matéria prima (sucata) empregada no processo. Deste modo, um possível reaproveitamento da mesma exigirá o monitoramento constante da sua composição e mais estudos a fim de reduzir a energia gasta para redução de seu tamanho.

Os subprodutos E e PF apresentaram susceptibilidade magnética, o que pode indicar outras alternativas de reuso para estes subprodutos da indústria de fundição, que não apenas a destinação em aterros. O PF, por meio da caracterização físico-química, indicou a necessidade de novos estudos envolvendo opções de reuso do mesmo, devido ao seu grande potencial de desenvolvimento sustentável.

Com base nos teores de carbono total das amostras, pode-se inferir que os resíduos antes da calcinação apresentam teores significativos de carbono e que a destinação agrícola pode ser uma alternativa viável desde que outros parâmetros químicos, tais como metais potencialmente tóxicos estejam dentro dos limites. Contudo, os teores de nitrogênio total confirmam que os subprodutos não podem ser aplicados

como fonte de nitrogênio, ou em substituição a fertilização mineral.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira ABNT NBR 10004**. Determinação da composição granulométrica: Agregados. ABNT, 1987.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira ABNT NBR 10007**. Resíduos sólidos: Amostragem de Resíduos: Procedimentos. ABNT, 2004.
- ALEKSEEV, K.; MYMRIN, V.; AVANCI, M. A.; KLITZKE, W.; MAGALHAES, L. E.; SILVIA, P. R.; CATAL, R.; SILVA, D. A.; FERRAZ, F. A.. Environmentally clean construction materials from hazardous bauxite waste red mud and spent foundry sand. **Construction and Building Materials**, p.229, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116860>
- ANDRADE, L. B.; CARMIN, R. L. P.; PINTO, R. C. A.. Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado. **Revista Matéria**, v.28, n.03, 2018.
- ANEKE, F. I.; SHABANGU, C.. Green-efficient masonry bricks produced from scrap plastic waste and foundry sand. **Case Studies in Construction Materials**, n.14, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00515>
- BINDER, R.. **Influência do processo de ferroidação nas propriedades de ferro sinterizado**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.
- BOLOKANG, A. S.. Designing a Sn-slag composite with possible non-toxic applications to provide a pure metal casting environment. **Cleaner Production**, v.211, p.1313-1321, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.250>
- BRONDINO, O. C.; BRONDINO, N. C. M.; GALDINO, J. P.. O problema do descarte da areia de fundição: ensino para o desenvolvimento sustentável. In: ENGENHARIA: MÚLTIPLOS SABERES E ATUAÇÕES. **Anais**. Juiz de Fora, 2014. p.12.
- BRUNO, M. B. A.; PACHECO, C.; GOMES, G.; FOLGUERAS, M. V.. Análise do desempenho de adensamento da massa refratária de sílica usada em fornos de indução. **Cerâmica**, Joinville, n.65, p.498-505, 2019.
- CASALI, J. M.; MIGUEL, T. F.; FELIZARDO, C. C.; MEIRA S. N.; DOMINGUINI, L.; BETIOLI, A. M.. Caracterização e influência do teor do resíduo de areia de fundição fenólica em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.18, n.1, p.261-279, 2018.
- CASOTTI, B. P.; FILHO, E. D. B.; CASTRO, P. C.. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. **Banco nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, v.33, p.121-162, 2011.
- DYER, P. P. O. L.; KLINSKY, L. M. G.; SILVA, S. A.; LIMA, M. G.. O emprego de resíduos de areia de fundição (RAF) em concreto asfáltico: uma alternativa para a sustentabilidade na pavimentação. **Revista Matéria**, v.26, n.01, 2021.
- FARIA, R. N.; LIMA, L. F. C. P.. **Introdução ao magnetismo dos materiais**. São Paulo, 2005.
- GOMES, L. S.; FURTADO, A. C. R.; SOUZA, M. C.. Silica and its peculiarities. **Revista Virtual de Química**, v.10, n.4, p.1018-1038, 2018.
- HOSSINEY, N.; PRANAB, P. M. K.; GEORGE, J.. In-plant production of bricks containing waste foundry sand: A study with Belgaum foundry industry. **Case Studies in Construction Materials**, n.9, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00170>
- JEFFERY, G. A.. **Elements of x-ray diffraction**. 1957.
- KAVITHA, O. R.; SHYAMALA, G.; AKSHANA, V.. Study of sustainable concrete property containing waste foundry sand. **Materials Today: Proceedings**, n.39, p.55-860, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.359>
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F.. **O nitrogênio na agricultura brasileira**. 2006.
- MATOS, P. R.; MARCON, M. F.; SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO, L. R.. Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. **Journal of Environmental Management**, v.244, p.294-303, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.048>
- MCKIE, M.. **Research and development of a sustainable technology improvement model for the foundry industry**. 2015.
- MORAES, C. A. M.; KIELING, A. G.; CALHEIRO, D.. Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos de empresas de fundição de ferro fundido de pequeno porte. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v.10, n.4, p.296-302, 2013.
- OLIVEIRA, A. B. F. C. I. L.; KOVALESKI, J. L.. Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil. **Revista GEPROS**, v.0, n.2, p.27, 2010.
- REETZ, H. F. J.. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.
- RIBEIRO, R. A. C.. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal - mecânicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C.. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, v.51, n.3, p.556-562, 1994.
- SANTOS, L. F.; MAGALHÃES, R. S.; BARRETO, S. S.; SANTOS, G. T. A.; PAIVA F. F. G.; SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S. R.. Characterization and reuse of spent foundry sand in the production of concrete for interlocking pavement. **Building Engineering**, n.36, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102098>
- SANTOS, T. G.. **Reaproveitamento de rejeitos de minério de**

**ferro e ouro com base em uma caracterização tecnológica e geoambiental.** Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SEGNINI, A.. **Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2007.

SOUZA, C. S.; ANTUNES, M. L. P.; VALENTINA, L. V. O. D.; RANGEL, E. C.; CRUZ, N. C.. Use of waste foundry sand (WFS) to produce protective coatings on aluminum alloy by plasma electrolytic oxidation. **Journal of Cleaner Production**, v.222, p.584-592, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.013>

TEIXEIRA, A. S. N. M.; SOARES, R. A. L.; TEIXEIRA, P. R. S..

Estudo e avaliação do uso e escória granulada de fundição na produção de cerâmicas estruturais. **Cerâmica industrial**, v.23, n.2, p.36-40, 2018.

THIESEN, T. S.. **Influência da cinza pesada e do pó de ferro em compósitos sinterizados obtidos por metalurgia do pó e aplicados como meio suporte em filtro biológico percolador.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

VARGAS, A. S.; SCHNEIDER, E. L.; SHMITZ, G.; ALQUIM, P. M.. Argamassas geopoliméricas à base de cinzas volantes alcali-ativadas contendo areia de fundição. **Cerâmica**, n.61, p.317-322, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613591784>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Cognitionis Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.